

Thiele

LA MER BALTIQUE PRISE COMME MODÈLE DE GÉOLOGIE MARINE

par Eugen SEIBOLD *

RESUME. — La Baltique peut être choisie comme type de mer intérieure, en climat humide et sa grande variété de faciès sédimentaires en fait un excellent modèle d'études.

Cette mer présente une très grande complexité tant au point de vue géographique que bathymétrique (seuils peu profonds, nombreux bassins annexes). Cette faible profondeur des détroits et le régime alterné des vents déterminent des conditions hydrologiques particulières (déplacements des masses d'eaux, stratifications thermiques, gradient vertical de salinité, milieux réducteurs, etc...). Les courants induits par le vent perturbent considérablement la répartition bathymétrique des dépôts (transports, vannage, resédimentation). Les variations rapides de salinité modifient également la composition du benthos, à la fois dans le temps et dans l'espace. Les mouvements eustatiques et épeirogéniques, par suite de la faible profondeur des détroits, altèrent fortement les caractères écologiques et sédimentaires. Ces données peuvent faciliter l'étude des paléobassins de même type.

ABSTRACT. — The Baltic sea may be taken as a standard inland sea under wet climatic conditions, and the great diversity found in its sedimentary features makes it an excellent model for investigations.

That sea offers a high complexity in consideration of its geography as well as its bathymetry (shallow-water sills, numerous annex basins). The shallow depth of the straits, joined to the alternate winds system give rise to peculiar hydrological conditions (water movements, thermal stratification, vertical salinity gradients, reducing environments, and so on ...). The wind-rised currents disturb largely the bathymetric distribution of the deposits (transportation, vanning, resedimentation).

Fast changes in salinity alter the benthos composition too, in time as in space. Eustatic and epeirogenic movements, in consequence of the shallow depth of the straits, strongly change ecological and sedimentary characteristics. Those data may be useful for the study of paleo-basins of the same type.

La question posée autrefois par Joh. Walther et Rud. Richter sur la géologie marine est restée actuelle. Ces deux savants ont fait des recherches au fond et au bord de la mer. Leur principe était le même que celui exprimé plus tard par Jacques Bourcart dans cette phrase : « la géologie terrestre a constamment affaire à des formations marines que l'on ne peut interpréter correctement qu'avec une bonne connaissance des phénomènes actuels ».

C'est dans ce sens que sera étudiée la Baltique prise comme type d'une mer intérieure dans un climat humide. Elle nous sert de modèle pour maintes phases de l'histoire de la terre, par exemple en Europe centrale au Carbonifère, au Lias et au Crétacé inférieur. Des recherches détaillées sur la Mer Baltique ont été faites par S. Gripenberg (1934), O. Pratje (1948), S.G. Segerstroåle (1957), T.I. Gorshkova (1963).

I. — MORPHOLOGIE

Les 400 000 km² de la Baltique se composent de différents bassins séparés par des seuils (fig. 1). Déjà la communication avec le Kattegat c'est-à-dire avec la Mer du Nord est rétrécie par les îles danoises. Les trois détroits sont peu profonds : le plus important, le Grand Belt a 20 m, le Petit Belt environ 10 m et l'Oresund 7 m de profondeur. La Mer des Belts se trouve au sud des îles danoises. Au fond de cette mer existent des chenaux jusqu'à 35 m en dessous de la surface de la mer. Cette partie avec les baies de Kiel et de Mecklenburg forme pour ainsi dire l'entrée de la vraie Baltique.

Elle commence au seuil de Darss, d'au moins 18 m de profondeur, tandis que le chenal dit Kadet-Rinne atteint 32 m. Vers l'est font suite des bassins différents en largeur et en profondeur : Arcona-

* Geologisch Paläontologisches Institut und Museum der Universität Kiel 23 Kiel. Olshausenstrasse 40/60.

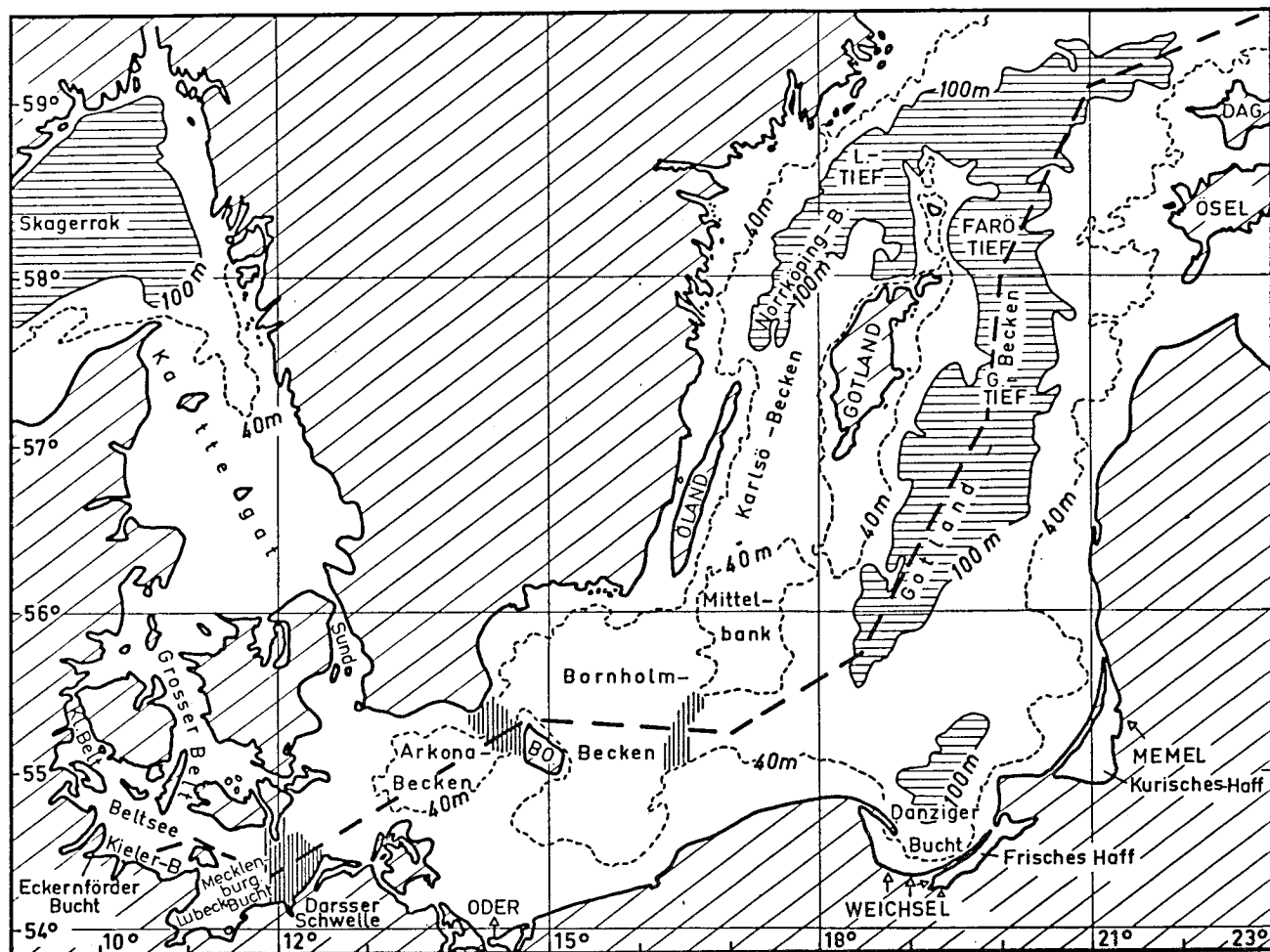


FIGURE 1

La mer Baltique partie centrale et occidentale.
(d'après Wüster et BANSE, 1957)

Isobathes : 40 et 100 m
Hachures horizontales = > 100 m
Hachures verticales = seuil
L-Tief = dépression de Landsort 459 m
G-Tief = dépression de Gotland 249 m
Ligne hachée = coupe hydrographique fig. 2

Becken (Jusqu'à 55 m) — seuil de 50 m — Bornholm-Becken (105 m) — seuil 60 m — Gotland-Becken (249 m) avec au sud la baie de Danzig (Gdansk) et la dépression de Farö au nord. Vers l'E.-N.-E. suivent, en transition lente, le Golfe de Finlande, vers le N. le Golfe bipartite de Botnie et vers l'W. le Landsorttief, où la Baltique avec 459 m a sa plus grande profondeur. A l'W. de Gotland se trouve la cuvette de Norrköping (200 m) et la cuvette de Karlsö (110 m). Un seuil de moindre profondeur, la Mittelbank (20-40 m),

forme au sud la séparation d'avec le Bassin de Bornholm.

Malgré des profondeurs bien supérieures à celles de la Mer du Nord, le fond de la Baltique ne possède que rarement des pentes de plus de quelques unités pour mille. C'est pour cela qu'il serait impossible de reconstruire le relief d'une mer Baltique fossile ; d'autant plus qu'on ne pourrait évaluer la compression variable des sédiments nouvellement déposés. Les grandes formes sont dues soit à l'excavation de l'inlandsis soit aux mouvements

tectoniques. La morphologie de détail est généralement la continuation des caractères morphologiques des terres avoisinantes, par exemple terrasses structurales dans les roches stratifiées, moraines terminales, dépressions centrales, lits de fleuves ennoyés, etc. L'orographie détermine le contour sinueux du bassin, les baies, promontoires, îles et détroits.

Toutes ces formes évoluent encore aujourd'hui par suite du soulèvement de la Scandinavie et de l'élévation rapide du niveau de la mer pendant l'Holocène. Mais l'érosion et la sédimentation continuent d'adoucir le relief et de régulariser les côtes orientales de la Baltique.

Dans les parties peu profondes, de petites différences du relief qu'on ne peut retrouver à l'état fossile sont la cause de faciès sédimentaires très divers. Par exemple dans le Kurische Haff on trouve dans une petite cuvette de 5,75 m de profondeur des sédiments d'environ 75 μ de diamètre, à 5 km de distance le fond s'élève à 5,0 m et la dimension des grains augmente (75-390 μ) (K. Jankevicius, 1959). Dans les parties profondes de la Baltique, les différences de profondeur n'ont pas la même importance. Mais il est possible que dans les bassins abyssaux de l'océan, des turbidites aient été déposées sur de faibles élévations de régions à sédiments pélagiques excessivement fins. Laissant de côté la différenciation des faciès du littoral, nous traiterons de leurs caractères les plus importants, c'est-à-dire de l'influence du relief et du climat sur les eaux de la Baltique.

II. — HYDROLOGIE

Dans toutes les mers, l'agitation de l'eau augmente de bas en haut. L'influence des vagues et des courants s'accroît dans la même direction. Mais, dans les mers intérieures, peu profondes et largement subdivisées, l'influence du mouvement de l'eau sur les sédiments est très complexe. Ici, non seulement la vitesse et la durée du vent, mais aussi la longueur de sa course (fetch) et l'exposition du fond de mer et de la côte jouent un certain rôle.

Dans la partie occidentale de la Baltique, la moitié des vents est dirigée W.-E. (N.W.-S.E.). Lors des tempêtes (> Beaufort 8) les trois quarts des vents prennent cette direction. Malgré cela, leur influence sur la côte et le fond de la mer est à maints endroits moindre que celle des tempêtes venant de l'E., qui ayant un fetch plus long, causent une houle

bien plus forte. C'est pour cela que sur certaines côtes de la baie de Kiel, la vase se trouve à partir de 16 ou 17 m de profondeur, tandis que sur les côtes exposées à l'est, la vase ne commence qu'à partir de 20 m. Quelques problèmes de cette limite de faciès très importante sont traités par H.F. Edgerton et coll. (1966). Il en va tout autrement sur la côte polonaise où l'influence des vents d'ouest est beaucoup plus importante. On n'y trouve, à des profondeurs de 11-18 m, que des matériaux grossiers (L. Semrav, 1966). Ici le sable est transporté généralement vers l'E. comme le montrent les langues de sable (Nehrung). On observe dans la baie de Mecklenbourg, jusqu'à 19 m de profondeur, des rides provenant du transport de sable par les vagues (Communication de O. Kolp), tandis que dans la baie de Kiel, abritée des vents occidentaux, ces rides n'existent que jusqu'à 10 m. L'exposition est d'autant plus importante que l'eau est moins profonde. A l'abri d'une falaise, au pied de laquelle se trouvent des blocs erratiques, subsistent des « Sandhaken », à l'intérieur desquels la vase se dépose. De cette façon, des faciès bien différents se trouvent à la même profondeur tout proches l'un de l'autre.

Un autre agent est l'accumulation de l'eau par le vent (Windstau). Des tempêtes d'Ouest de longue durée poussent l'eau de la surface vers l'E de telle sorte que le niveau de la mer s'élève jusqu'à 4 m dans le Golfe de Finlande (K. Voigt, 1962). En même temps, le niveau baisse de 2 m à 2,5 m dans la Baltique occidentale. Par des vents contraires l'eau monte à l'Ouest jusqu'à 3 m au-dessus du niveau moyen.

Ces niveaux extrêmes sont assez rares, mais il faut en tenir compte pour expliquer de rares et minces couches d'origine marine dans des coupes littorales. K. Gripp (1956) insiste sur ces phénomènes et rejette l'expression « Windwatt » (Schlicke du vent) pour le littoral mis à sec exceptionnellement.

Le « Windstau » attaque aussi les falaises. Dans l'ouest de la Baltique, les hauts niveaux de la mer sont généralement en concordance avec les tempêtes de l'E. Dans ce cas les parties les plus élevées des falaises de dépôts glaciaires sont attaquées. Il en résulte des pertes de terre assez importantes. Un phénomène contraire reproduit sur les côtes orientales de Schleswig-Holstein. Ici, l'eau de surface, poussée par le vent vers l'E est compensée par un courant sous-marin dirigé vers l'W. Près du littoral, ce courant est quelquefois si fort que, par exemple dans l'intérieur de la baie de Lübeck, du sable de taille moyenne a pu être transporté de 12 à 6 m de profondeur (E. Seibold, 1963).

Dans des mers intérieures, à régime hydrodynamique

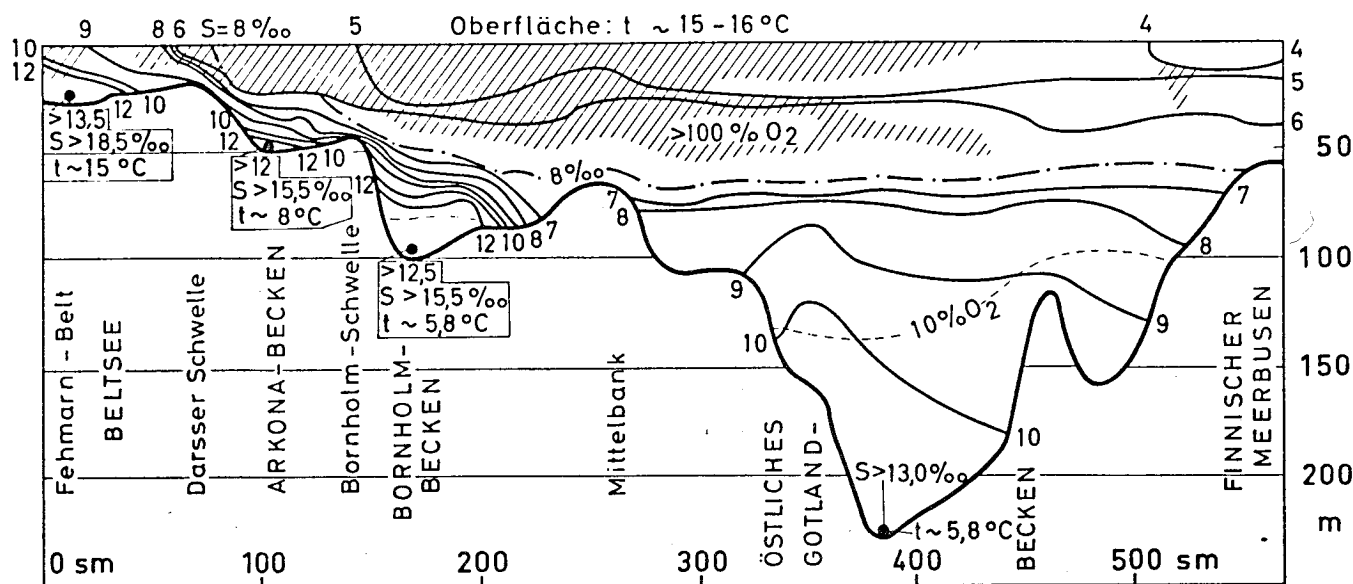


FIGURE 2

Coupe hydrographique longitudinale de la Baltique mesurée en août 1956.
(simplifiée d'après Wüst et BANSE, 1957)

- stations les plus profondes des différents bassins avec les valeurs pour σ_t , S et t.
- profil topographique.
- courbes représentatives de σ_t ; $\sigma_t = (\text{densité} - 1) \times 1000$; σ_t indiqué par des chiffres (4 à 10 et plus) au bord des courbes.
- S : salinité ‰; ——— S = 8 ‰.
- <t> : température (°C) à la surface et dans les parties les plus profondes.
- O₂ : % oxygène; ///// saturation : $\geq 100\%$; pour O₂ = 10 %.
- Sm: distances en milles marins.

mique aussi complexe, le sable peut être transporté, même loin du littoral, dans de l'eau d'une grande profondeur. Dans des parties moins profondes, une migration de sable à contre-pente est bien connue de ceux qui étudient, soit la formation des bancs côtiers de sable, soit l'élargissement de la plage pendant l'été. Malgré ces complications exceptionnelles, la loi classique reste valable, c'est-à-dire que, lorsque la profondeur augmente, le mouvement de l'eau et la taille des grains du sédiment diminuent. Comme particularité, nous trouvons dans la Baltique que l'échange de l'eau de la surface avec celle des profondeurs est difficile (de là la diversité des faciès et associations faunistiques). Les limites des faciès deviennent quelques fois très nettes pour les raisons suivantes : D'abord c'est le réchauffement de surface qui provoque un changement brutal de la température « Sprungschicht » (thermocline). Cette limite se trouve entre 20 et 30 m de profondeur. Elle n'est bien nette qu'en été, et cela surtout dans la partie orientale. Dans la partie occidentale de la Baltique, les eaux sont mieux mélangées. C'est pour cela que la « Sprungschicht » (thermocline) varie en profondeur entre 3 et 29 m. Bien plus im-

portante pour les phénomènes géologiques est la variation rapide de la salinité (halocline). Sa position est plus constante et elle provoque une forte différence de densité (fig. 2).

Son origine est l'eau de l'océan plus riche en sel, donc plus lourde. Cette eau pénètre sous une couche d'eau saumâtre dans les mers bordières situées dans les régions à climat humide. Les apports d'eau douce dans la Baltique sont d'après K. Wyrski (1954) pour les fleuves 472 km³ par an et pour l'atmosphère 171,9 km³ par an. L'évaporation en enlève 172,5 km³. C'est pour cela que seulement 471 km³ s'écoulent par les détroits entre les îles danoises. Le contre-courant d'eau plus salée près du fond est temporairement restreint par suite de la faible profondeur et du resserrement de ces détroits. Même s'il s'arrête pendant quelque temps, cet apport d'eau peut élever la salinité à 14-30 ‰ dans les eaux profondes de la mer des Belts. Le mélange vertical augmente de 10-16 ‰ la salinité du courant de surface sortant des détroits. Mais il est rare que le courant passe le seuil de Darss inférieur. Par conséquent on trouve vers l'est une forte diminution ainsi qu'une variation moins grande de

la salinité (Bornholm : en surface 7,5 ‰, au fond 15-16 ‰ ; Bassin de Gotland : en surface 7 ‰, au fond 11-13 ‰ ; centre de la baie de Finlande : en surface 5 ‰, au fond 8-9 ‰). En outre, l'étranglement de la Baltique par les détroits efface presque complètement l'influence des marées. Il empêche le mélange des eaux comme c'est le cas, par exemple dans la Mer du Nord. C'est pour cela que le changement brusque de salinité se trouve presque partout à la même profondeur (Dietrich, 1950).

TABLEAU 1

Changement abrupt de salinité et limite sable/vase

| | Mer du Belt | Bassin d'Arkona | Bassin de Bornholm | la Baie de Danzig | Bassin de Gotland |
|---------------------------|-------------|-----------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| m | 20 | 40 | 60 | 70-80 | 80 |
| limite sable/vase m | 16-25 | 40 | 50-60 | 70-80 | ? |

L'eau dense pénétrant dans les parties profondes s'y répand en général lentement. Même après le fort afflux de 1959, son front a mis une année et demie pour aller du bassin de Bornholm au Landsortief. En 1951 cette progression a duré 6 mois (S.H. Fonselius, 1962). Si l'on supposait une vitesse égale pour tout ce parcours — ce qui est sûrement inadmissible — on arriverait à 4 cm/sec. Il est naturel que la vitesse soit bien plus grande dans les détroits et dans la partie occidentale de la Baltique (tableau 2). Pour d'autres mouvements d'eau près du fond, voir tableau 2. Dans un milieu d'une stratification si complexe, il est difficile de reconnaître la direction et la force des oscillations. Mais une intervention simultanée de ces différents facteurs serait exceptionnelle, et c'est pour cela que leur influence sur le fond restera locale comme par exemple sur les seuils et dans les détroits. Le tableau 2 fait en outre ressortir que de telles oscillations entraînant un courant de fond de quelques cm/sec peuvent exister dans des masses d'eau moins oxygénées. Elles se forment pour quelque temps même dans l'eau anaérobie de la Baltique.

TABLEAU 2

| Profondeur en mètres | a - courant | b - ondes | | | Oscillation de la Baltique (53 h) cm/sec | Périodes plus longues (> 300 h) |
|-------------------------|---|--|------------------|------------------|---|---------------------------------------|
| | Egalisation de densité cm/sec | Marée semi-diurne (12,4 h) cm/sec | Seiches | | | |
| | | | (18 h) cm/sec | (27 h) cm/sec | | |
| surface | au dehors : max. > 100 au dedans : max. 200 | — | — | — | — | — |
| 10 m | — | 7 | 6,4 | 9,5 | 19,6 | 37 |
| 20 m | au dehors : rare en général : < 30 au dedans : max. > 120 | — | — | — | — | — |
| 26 m (fond à 28 m) | | 3 | 1,8 | 2,5 | 7,4 | 9 |

Du fait de la stratification importante de l'eau, il est douteux que le courant de surface induit par

le vent (en sens inverse des aiguilles d'une montre) atteigne le fond comme l'a supposé O. Pratje.

III. — SEDIMENTS

Les types de sédiments et leur localisation ne dépendent certainement pas seulement du relief et des caractères de l'eau, mais aussi du matériel disponible.

A. — MATÉRIEL DISPONIBLE

Environ 250 fleuves déversent leurs eaux dans la Baltique. Ils y amènent surtout du matériel en suspension. C'est la conséquence des faibles altitudes des reliefs avoisinants et des nombreuses cuvettes naturelles et artificielles dans lesquelles les fleuves des montagnes de la Suède déposent leur matériel en suspension. L'Oder et la Vistule amènent de grandes quantités de sable, au moins en période de crues. L'abrasion des côtes rocheuses de la Suède n'augmente pas le volume des dépôts ; il en est autrement à l'est et au sud parce que les côtes y sont formées par les dépôts meubles glaciaires. C'est seulement là que se forment, sur de longues distances, des côtes rectilignes. Le sable se dépose comme « Kurzschweb »¹ (K. Gripp, 1958) sur la plage ou sur les rides de la Schorre ; seuls les grains fins (« Langschweb »)² sont transportés jusqu'aux régions internes de la Baltique.

L'abrasion du fond de la mer est d'une plus grande importance. Selon l'exposition elle peut atteindre jusqu'à 25 m de profondeur, et même davantage dans les chenaux cités. Si l'abrasion enlève du matériel morainique il reste une couverture de sable grossier ou des blocaux. Mais, malgré cette couverture rendant moins efficace l'abrasion, l'équilibre n'est pas encore atteint à cause du récent relèvement du niveau de la mer. Par conséquent, de vastes parties littorales et des hauts-fonds voient leur profondeur augmenter. Par exemple, d'après une comparaison portant sur 80 ans, sur une longueur de 10 km de côte, en face de Heiligenhafen, 84 000 m³ de matériaux sont enlevés du fond de la mer et 10 000 m³ seulement de la falaise. Il n'y a plus que 18 000 m³ de sable sur le littoral. Le reste, qui forme la fraction la plus fine, est emporté (G. Seifert, 1955). Au matériel minéral vient s'ajouter la sédimentation organique. Le plus grand pourcentage de benthos vient de parties peu pro-

fondes, surtout là où elles sont couvertes de sable fin (G. Köhlmoorgen, 1963, tabl. 6). Le plancton augmente aussi la quantité des sédiments. D'après Zeitschel (1965), dans les eaux de la baie d'Eckernförde, il se dépose du matériel en suspension dans les proportions suivantes : 85 % de matière minérale, 10 % de détritus organique et 5 % de plancton vivant. Il est probable que le pourcentage en matériel organique soit plus élevé, car ces mesures furent faites au voisinage d'un haut-fond sous-marin, nommé Mittelgrund, qui est soumis à l'érosion.

B. — FACIÈS ET PROFONDEUR D'EAU

Comme déjà indiqué, de la profondeur de la mer dépend, dans ses grands traits, la granulométrie du sédiment. C'est pour cela que la carte de O. Pratje (1945) indiquant la répartition des différents sédiments est encore valable aujourd'hui (fig. 3, a et b). Cette relation n'est sans doute si évidente que parce que, dans la Baltique, le matériel provient de dépôts glaciaires contenant des grains de toutes tailles. Ce cas exceptionnel est à considérer dans les comparaisons avec d'autres exemples fossiles. La complexité du régime hydrologique dans la Baltique n'a permis que rarement une analyse des faunes récentes comparable à celle des faunes fossiles. En outre, les coquilles calcaires sont attaquées ou complètement dissoutes soit sur le fond de la mer soit dans la vase. On a même observé, chez les foraminifères vivants, une dissolution de la coquille.

1°) Dans les parties les plus profondes ou dans les bassins moins profonds et très fermés, les particules les plus fines peuvent se déposer en donnant le « Schlick » et la vase. Les observations de O. Kolp (1966) (tabl. 3) le démontrent clairement pour la Baltique ouest et centrale. Comme on l'a dit plus haut, l'échange vertical de l'eau est réduit dans les cuvettes profondes de sorte que le contenu en oxygène est faible. Il peut même être complètement absorbé et le H₂S devenir exceptionnellement prédominant. C'est dans ces conditions que la substance organique reste en grande partie conservée. Dans la Baltique centrale, les pourcentages en C organique s'élèvent de 0,7 % dans le sable vaseux, à 1,27 % dans la vase sableuse, jusqu'à 4,13 % dans la vase argileuse (T.I. Gorshkova, 1963). Dans la baie d'Eckernförde, qui atteint la profondeur de 30 m, on a trouvé jusqu'à 10 % de Carbone organique (B. Zeitschel, 1965) et dans le bassin de Gotland, de 200 m de profondeur, jusqu'à 6 %. Les mêmes valeurs, dans le Landsorttief, sont environ 2 % (S. Gripenberg, 1939). Leur relation avec la profondeur est difficile à interpréter.

(1) « Kurzschweb » : matériel en suspension pour une période brève.

(2) « Langschweb » : matériel en suspension pour une période longue.

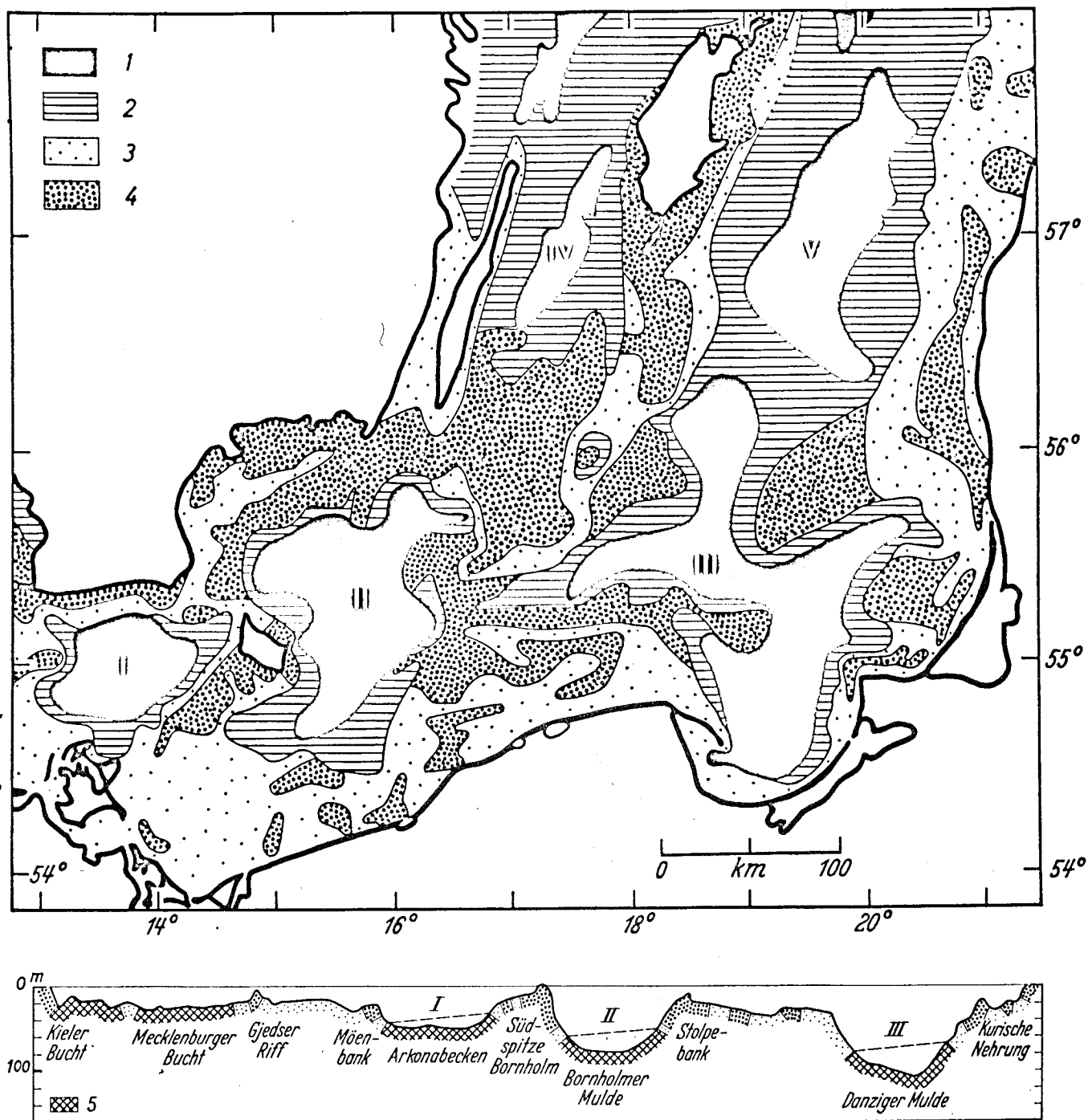


FIGURE 3

Les sédiments dans la Baltique centrale et méridionale.

De Seibold 1964 d'après O. PRATJE, 1948.

a) carte; b) coupe à travers la mer des Belt - I - II - III.

I = Arkonabecken; II = Bornholmbecken; III = Danziger Mulde; IV = Karlsöbecken; V = Gotlandbecken.

1 = vase; 2 = vase sableuse; 3 = sable; 4 = fonds à sédimentation faible ou nulle; 5 = vase.

Les indications pour les sédiments en fig. 3b ne concernent que les sédiments à la surface.

TABLEAU 3

Granulométrie de 10 échantillons de vase des bassins les plus profonds de la Baltique occidentale et méridionale d'après Kolp (1966) : pourcentage pondéral

| Localités | Profondeur en mètres | Pourcentage des fractions | | | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------|------------|-----------|-------------|-------------|
| | | > 63 μ | 63-20 μ | 20-6 μ | 6-2 μ | 2-0,6 μ | < 0,6 μ |
| Mecklenburger Bucht | 24-26 | 8,5 | 36,9 | 28,0 | 11,6 | 6,8 | 8,2 |
| Arkonabecken | 45-48 | 0,7 | 25,8 | 37,6 | 16,3 | 9,3 | 10,3 |
| Bornholmbecken | 80-92 | 0,4 | 18,1 | 31,1 | 20,6 | 15,8 | 14,0 |
| Danziger Bucht | 103-107 | 0,4 | 13,1 | 31,0 | 22,9 | 18,6 | 14,0 |

Si l'on compare les pourcentages en C organique des sédiments à grains fins de la Baltique avec ceux du Golfe Persique on constate que dans le NW du seuil de Qatar le contenu en C organique est inférieur à 1 %, tandis que, dans le SE, il est de 1 à 1,5 % (Hartmann, non publié). Ce golfe d'une région aride reçoit donc constamment, de l'océan Indien, de l'eau de surface riche en plancton. Il en va autrement dans les profondeurs de la Baltique, où l'afflux d'eau externe a peu d'importance, et cela encore moins à l'est du seuil de Darss. Malgré cela, dans le Golfe Persique, le contenu en C organique des sédiments de granulométrie ana-

logue est bien moindre. Car les conditions hydrologiques (courant sortant au fond, marées fortes) ne laissent pas l'eau stagner. En outre, les températures élevées de cette région accélèrent la décomposition bactérielle.

La finesse des grains et la grande quantité de substance organique laissent supposer un haut pourcentage d'eau dans les sédiments. En effet, au large et à l'intérieur de la baie d'Eckernförde, les 2 cm supérieurs du sédiment contiennent jusqu'à 350 % d'eau par rapport au sédiment sec (Kögler, non publié). Cela signifie que, dans 100 g de sédiment humide, il y a près de 80 g d'eau !

TABLEAU 4

| | Bornholmbecken | | Gotlandbecken | |
|-----------------------|----------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
| | Mn | Fe | Mn | Fe |
| Eau de surface | 5 γ /l | | 10 γ /l | |
| Eau du fond | à 100 γ | | à 900 γ | |
| Eau interstitielle | ? | | 700-32000 γ | |
| Surface du sédiment | à 1 % en poids | 3-5 % en poids | à 2 % en poids Landsorttief 3,75 | 5-7 % en poids |
| Intérieur du sédiment | diminuant à 0,1 % | | augmentant à 13 % | |

TABLEAU 5

Irruptions d'eau de haute salinité dans la Baltique

| Bassin de Bornholm | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|---|------|------|------|------|---|------|------|------|
| 1903 | 1907 | 1909 | 1912 | ? | 1926 | 1933 | 1934 | 1937 | ? | 1948 | 1951 | 1959 |
| Bassin de Gotland | | | | | | | | | | | | |
| — | 1907 | — | — | ? | 1926 | — | 1934 | ? | ? | — | 1951 | 1959 |

Dans un milieu sans oxygène, la mobilité du fer et du manganèse augmente. C'est ce qui explique les résultats du tabl. 4 (Hartmann, 1964).

D'autres métaux augmentent également dans un sédiment de ce type, par exemple Cu et Zn jusqu'à 100 ppm, Mo jusqu'à 40 ppm, U jusqu'à 20 ppm. Ag jusqu'à 1 ppm (F.T. Manheim, 1961). La finesse des grains, la grande proportion d'eau et la capacité de compaction de ces vases favorisent les variations de compositions chimiques. Mais jusqu'ici on n'y a pas encore trouvé de concrétions en voie de formation. Une partie de la stratigraphie fine, par exemple celle entourant les couches de carbonate de manganèse (1 mm d'épaisseur) trouvées dans le bassin de Gotland peut être en grande partie d'origine diagénétique (M. Hartmann, 1964).

L'évolution de l'oxygène dissout est le résultat de l'oxydation et de la formation de CO₂. C'est pour cela que le pH moyen (8,0) de l'eau de surface descend à 7,0, même à 6,9-6,8 dans l'eau des fonds de bassins. Il peut diminuer encore plus dans les sédiments. Le résultat est une dissolution partielle des coquilles et des blocs de roches calcaires qui, par hasard, ont pénétré dans ce milieu. Dans ces vases la silice des Diatomées se dissout en général partiellement, ou même complètement comme c'est le cas pour le carbonate des coquilles des foraminifères benthoniques. Elles disparaissent presque complètement dans les 15 cm supérieurs du sédiment (J. Resig, 1965). Il est surprenant que ce ne soit pas le cas dans quelques carottes du bassin de Gotland, peut-être parce qu'on y trouve du carbonate en abondance. Seule la substance organique est quelquefois restée sous forme d'une mince couche.

Le contenu en calcaire reste généralement en dessous de 2 %, mais, dans l'eau peu profonde, il atteint 5 % à cause des coquilles de mollusques. Aux alentours des roches calcaires paléozoïques il arrive même à 30 %. Cette pauvreté en calcaire est l'inverse de ce que l'on sait du Golfe Persique. Dans les bassins peu profonds, la stagnation de l'eau de fond n'est possible que pendant une courte période, surtout en été. Mais dans le bassin de Gotland elle est permanente, sauf les interruptions dues aux

irruptions d'eau salée. Ces dernières sont apériodiques, car elles dérivent de situations atmosphériques très compliquées, et se font pour ainsi dire au hasard (S.H. Fonselius, 1962).

Ces irrutions augmentent la salinité (p. ex. dans le bassin de Bornholm à 4 ‰ en 1951), la température et la teneur en oxygène. Elles sont — au moins en partie — l'origine de la stratification fine au fond des bassins plus profonds. Cette stratification est bien conservée à cause de l'absence de vie benthonique. Il reste de ce fait douteux que l'alternance de couches foncées et claires d'une épaisseur de 0,1-2 mm (H. Ignatius, 1958) puisse correspondre à une stratification annuelle — même si un rapprochement avec la Mer Noire doit être fait — à d'autres égards.

Les dernières mesures précises de la sédimentation dans des vases à granulométrie la plus fine ont été effectuées dans la baie d'Eckernförde. D'après (B. Zeitschel, 1965), il s'y dépose annuellement 2,6 mm de sédiment humide provenant de matières en suspension. Cela correspond à un dépôt sédimentaire, par exemple d'argile schisteuse, de plus de 50 cm en dix siècles. Cette sédimentation exceptionnelle s'explique par le voisinage des régions soumises à l'abrasion. (En comparaison: 5 cm dans la Mer Adriatique et 4 cm dans la Mer Noire selon les communications de Ph.H. Kucnen à l'assemblée de la *Geologische Vereinigung* à Vienne, 1966). Selon J. Resig (1965), il est vraisemblable que, dans l'intérieur de la baie d'Eckernförde, une carotte de 23 m de longueur a été déposée en 6 000 ans. Cela correspond à 380 cm de sédiment humide par dix siècles.

2°) Dans les parties moins profondes de la Baltique on rencontre un sédiment à sable fin. La transition vers le sédiment plus fin est lente puisque les limites — même si elles étaient originellement nettes — sont plus ou moins détruites par l'activité des animaux fouisseurs. Mais, en gros, les limites sont bien tranchées et correspondent étonnamment bien avec la profondeur de la variation brutale de la salinité (voir tabl. 1).

TABLEAU 6

Biomasse à parties molles et dures, mais sans micro-faune et sans Mytilus + Cyprina, ces derniers ne se trouvant qu'à des endroits restreints (G. Kühlmorgen, 1963)

| g/m ² | Annélides | Mollusques | Crustacés | Echinodermes | Total |
|------------------|-----------|------------|-----------|--------------|-------|
| Sable | 15,8 | 14,1 | 1,4 | 1,5 | 32,8 |
| Sable fin vaseux | 42,4 | 28,8 | 1,8 | 1,9 | 74,9 |
| Vase sableuse | 37,7 | 18,3 | 1,5 | 1,8 | 59,3 |
| Vase foncée | 5,7 | 4,5 | 0,8 | 0,45 | 11,45 |

Presque tous les échantillons pris au sud du Grand Belt à une profondeur de moins de 20 m contiennent moins de 1 % de limon (silt) ou de matières encore plus fines. A de plus grandes profondeurs, cet apport augmente fortement et brusquement puisqu'il peut atteindre 16 % dès 22 m (U. Barner, 1965). Ces faits prouvent l'agitation de l'eau de surface en mouvement.

Les fonds de sable fin se trouvent donc partout sous l'eau assez aérée, mais pas très agitée. C'est pour cela qu'ils contiennent, dans la baie de Kiel, la biocoenose la plus abondante avec surtout des vers et des mollusques (tabl. 6). Ces animaux produisent d'énormes quantités d'excréments en forme de coprolithes, facilement reconnaissables dans les sédiments. Il n'est pas surprenant que ces sables remaniés par la faune, perdent leur structure sédimentaire. Peut-être est-ce pour cela qu'on trouve dans toutes les périodes géologiques des grès homogènes à sable fin.

Les paléontologistes s'intéressent au fait que la faune ne se trouve qu'en certains endroits et cela dans l'espace et dans le temps. Le petit oursin *Echinocyamus pusillus* qui, en 1953, pullulait dans le sable de la baie de Kiel, a maintenant disparu (G. Kühlmorgen, 1965). Les lieux d'accumulation de foraminifères benthiques vivants mesurent de 1 à 2 m². Le centre de ces aires contient, sur 10 cm², 100 exemplaires vivants et même plus. Dans les régions intermédiaires, on n'en trouve que 10 sur 10 cm².

La comparaison de la répartition de ces « taches » de faune vivante avec celle des coquilles vides montre une grande analogie. Cela veut dire qu'il n'y a presque pas eu de transport et cela en partie durant des mois (G.F. Lutze, inédit).

Dans les régions d'écoulement de l'eau superficielle, peu salée et d'une température variée, mais

pouvant atteindre 20°C, la faune des foraminifères diffère très distinctement de celle des fonds soumis à une influence plus marine et cela même dans des sédiments comparables (G.F. Lutze, 1965).

Dans ces sables fins, mais aussi dans ceux à grains plus gros, des ions Fe²⁺ et Mn²⁺ migrent de bas en haut dans le sédiment et, par oxydation, forment des croûtes, des plaques et des nodules de quelques centimètres d'épaisseur. On les trouve au bord des bassins de Gotland et de Bornholm et aussi dans les golfes de Botnie et de Finlande. On est tenté de voir dans ce processus un modèle de la formation des oolithes ferrugineuses et même des gisements de fer (comparer à la discussion dans H. Braun, 1964, et à la théorie de la formation d'un gisement de moindre extension chez A. Finkenwirth, 1964). Il reste pourtant douteux que ces oxydes, une fois recouverts c'est-à-dire réexposés à un milieu de réduction, puissent résister à la dissolution. Pour le manganèse, au moins, ce n'est pas le cas.

3°) *Les fonds à sable grossier et à graviers* sont dus à l'érosion. Leur matériel n'est pas apporté par la mer ; au contraire il lui résiste et protège les sédiments qu'il recouvre. Dans les endroits exposés, il n'a des relations qu'avec les dépôts sous-jacents. Des plongeurs ont observé que cette couche protectrice n'a que 30 cm d'épaisseur et qu'elle est grossièrement stratifiée. Elle ne se trouve qu'à des endroits de dépôts morainiques. Ces futurs « conglomérats de base » de la transgression holocène normalement font défaut sur les argiles de bassins glaciaires, les sables de cône de déjection, les sables fluviaux holocènes, les dépôts des lacs et des marécages.

4°) *Exceptions.* — Les dépôts des chenaux d'eau courante et des hauts fonds de sable dans la Baltique ne sont pas en accord avec la distribution nor-

- male des sédiments en fonction de la profondeur. Les chenaux des parties les plus profondes des seuils ainsi que ceux de la mer des Belts contiennent des sédiments à deux modes granulométriques au moins là où le courant de l'eau pénétrante à salinité élevée est assez fort (E. Seibold, 1965). En temps normal la vase s'y dépose. Mais si l'eau vient du Kattegat en passant les chenaux étroits, vase et sable sont emportés (F. Werner, 1964) et même le substratum est érodé. Au fur et à mesure de la diminution du courant le matériel dépourvu de grains fins est redéposé dans des élargissements et à la sortie des chenaux. C'est de cette façon que se forment les accumulations de gros grains. Dans le Grand Belt, on a trouvé, dans des dépôts vaseux, des blocs de la grosseur du poing. Ceci est un bon exemple de sédiments à deux modes, fait assez souvent négligé. Dans l'eau peu profonde, les sables souvent remaniés ont une stratification entrecroisée, tandis que les sables des dits chenaux perdent complètement leur stratification du fait des animaux fouisseurs, dès que le courant diminue.

Nous n'insisterons pas sur les hauts fonds de sable. Dans la Baltique occidentale on en trouve sur de l'argile à blocs ou des bancs de galets, donc dans de l'eau très peu profonde. Des formations analogues peuvent peut-être, par leur structure interne et leur forme, servir de modèle pour les gîtes d'oolithes ou de sables pétrolifères. Jusqu'à présent on n'a pas cherché à étudier, par l'analyse de la faune, l'origine si différente de tels sables. G. Kühlmorgen (1965) s'est servi de la macrofaune benthonique de la baie de Kiel pour une classification du fond : chenaux à plus de 25 m ; zones entre 17 et 25 m ; zones à eau stagnante de plus de 25 m ; et, au-dessus de la « Sprungschicht » (changement brusque de salinité), régions des bancs de sable.

III. — FACIES ET ELOIGNEMENT DES ABORDS DE LA BALTIQUE

Les organismes dépendant de la salinité diminuant vers l'Est nous renseignent jusqu'à présent à eux seuls avec certitude sur le changement régional de faciès. La plus grande étendue d'eau saumâtre du monde, la Baltique, est un bon exemple pour des mers intérieures fossiles dans des régions à climat humide. Les biologistes (A. Remane, 1940, S. Ekman, 1953, S.G. Segerstrale, 1957) nous ont donné maints travaux préliminaires que les géologues n'ont pas encore suffisamment utilisés. En voici

quelques exemples. La Baltique contient la même flore et la même faune que la Mer du Nord, mais appauvrie. La composition et le nombre des espèces changent à mesure qu'on avance vers l'est. Déjà, en 1871, M. Delesse a écrit : « La Baltique offre l'exemple d'une mer actuelle, dans laquelle vivent simultanément des mollusques marins et lacustres ». La limite la plus importante est le seuil de Darss. A l'Ouest il y a encore des coraux, ptéropodes, scaphopodes et céphalopodes, tandis qu'à l'est on n'en trouve plus. Dans la Baltique des Belts, on a enregistré 143 espèces de polychaetes, mais dans le bassin d'Arcona seulement 15. Quant aux espèces de mollusques les relations sont de 34 à 24, chez les poissons de 55 à 30 d'après S.G. Segerstrale (1957). Dans le Golfe de Finlande, il ne reste respectivement des mêmes groupes que 3, 4 et 22 espèces. De même pour les foraminifères. En 1963 vivaient dans l'eau la plus profonde du Fehmarnbelt 12 espèces, dans le bassin d'Arcona 5 seulement. Les espèces « vraiment marines » *Egerella scabra*, *Reophax aduncus*, *Ammonia beccari* et *Spiroplectammina* ont complètement disparu. Les 5 espèces passent le seuil de Darss — paraît-il — seulement avec des pénétrations d'eau plus salée et ne peuvent y vivre que peu de temps (G.F. Lutze, 1965). Cette faune des bassins vit dans une eau saumâtre de même teneur en sel que la faune des eaux peu profondes. Mais le mélange des espèces est bien différent. Il est donc assez risqué, d'après les résultats de G.F. Lutze, de juger de la salinité en se basant sur de telles microfaunes.

La monotonie des espèces dans la Baltique intérieure est si grande qu'un grand nombre d'entre elles fait partie de presque tous les biotopes, leurs ennemis de l'eau plus salée y faisant défaut. Plusieurs espèces de l'eau peu profonde de la Mer du Nord se répandent dans des régions les plus profondes de la Baltique (submergence dans l'eau saumâtre, A. Remane, 1940). En même temps elles changent le type de sédiment : *Mya truncata* et *Buccinum undatum* passent du sable fin ou de la vase sableuse à la vase ; *Psammechinus miliaris* passe des prairies peu profondes de *Zostera* à la zone des algues de profondeur bien plus grande.

Mais les seuils empêchent l'immigration des espèces d'eau profonde. Il est bien connu qu'en compensation les faunes y peuvent être très riches en individus. Dans la baie de Kiel on a observé *Ophiura albida* sur le sable vaseux en telles quantités que leurs bras se touchaient et que le fond de la mer semblait recouvert d'un filet. Il y avait un animal sur chaque 4 cm² environ. Mais attention à ces chiffres ! Ces observations donnent des maxima, mais ne tiennent pas compte de la répartition des « taches » dont nous avons parlé plus haut.

La paléocéologie a encore beaucoup à étudier en ce qui concerne les modifications morphologiques introduites par la réduction de taille des coquilles en relation avec la baisse de salinité. Par exemple *Mytilus edulis* et *Cardium edule* n'atteignent à 10 ‰ de salinité que la moitié de leur taille en milieu marin normal. Même les *Fucus* sont plus petits. Mais la microfaune ne diminue pas de taille.

On sait que l'épaisseur des coquilles calcaires diminue fortement et que leur forme change quelquefois. *Cardium edule* est orné dans l'eau de mer de 24 à 28 côtes, dans l'eau saumâtre de 19 à 21 et y devient plus asymétrique.

Mais il n'est pas facile d'interpréter ces changements parce qu'on les trouve aussi dans des eaux sursalées. En outre, dans la Baltique, la salinité est un critère inutilisable, parce qu'elle varie presque journellement en raison d'une hydrologie très compliquée. Ces changements ont une influence très variable sur les stades de développement, la reproduction des organismes, etc. En outre, ces influences peuvent en partie être compensées par la température. La pénétration du courant d'eau salée paraît provoquer des variations régionales différentes. Par exemple, au débouché sud du Grand Belt, ce courant transporte du sable vers le sud, entraînant des foraminifères, à travers les seuils dans les bassins avoisinants, mais seulement des larves et, non des individus adultes. Car on a souvent trouvé des « taches » de foraminifères vivants, correspondant complètement, quant aux espèces et au nombre d'individus, à des taches isotopes de coquilles mortes (G.F. Lutze, inédit).

Il paraît que de petits flocons d'hydroxyde de manganèse sont aussi transportés par le courant d'entrée. Cela explique la richesse en manganèse des sédiments dans le bassin de Gotland. Finalement, tout nous indique que, dans le « Langschweb » soulevé en tourbillon dans la Baltique occidentale, c'est surtout la montmorillonite qui est transportée vers l'est.

IV. — DEDUCTIONS GEOLOGIQUES

Dans cet exposé, la Baltique a été considérée comme un modèle du groupe de faciès (facies tract, C. Teichert, 1958) : « Mer intérieure de climat humide ». Malgré des conditions assez compliquées, l'étude de la Baltique nous permet de tirer quelques conclusions.

Mais si en se basant sur ces conclusions on essaie

d'expliquer les profils de sédiments holocènes de la Baltique, c'est-à-dire une suite de faciès de « déroulement de transgression », alors on se heurte à de nouvelles difficultés.

Nous avons vu que les changements rapides de direction du vent à l'entrée de la Baltique peuvent être de grande importance. Les vents d'Est sont suivis de vents d'Ouest de longue durée provoquant de forts courants d'eau salée. Ils sont efficaces. Ils ont une influence sur la faune et la stratification jusqu'au bassin de Gotland, donc à une distance de plus de 1 000 km. Malheureusement cela n'arrive qu'à plusieurs années d'intervalles et non périodiquement. C'est un fait qui rend difficile l'explication des profils.

Bien plus efficaces sont les changements de climat dans des régions très étendues. Entr'autres, ils sont cause du relèvement du niveau de la mer pendant l'Holocène. Si ce relèvement avait continué sans interruption, la Baltique aurait lentement atteint la salinité du Kattegat. Mais sans doute il y a eu des arrêts dans ce relèvement, ou même des régressions. Celles-ci ont non seulement rendu l'eau plus saumâtre, mais ont provoqué des conditions euxiniques dans les profondeurs des bassins. Cela prouve qu'en principe tous ces changements de faciès peuvent se reproduire dans des mers bordières sans le moindre mouvement tectonique.

La Baltique est située dans une région de grands mouvements épirogéniques. Ils se font sentir dans toute la région avec une intensité variable dans l'espace comme dans le temps, et ont une grande influence à l'entrée de la Baltique, dans la zone des seuils de faible profondeur. Un léger relèvement de ces seuils suffit à rendre plus saumâtre toute la Baltique pour de longues durées. De plus, le fait que ces passages sont situés à la charnière qui joint le bloc ascendant scandinave à la masse descendante de la plaine de l'Allemagne du Nord crée une tectonique de blocs aux mouvements différenciés.

Les détroits actuels, comme ceux des temps passés, se trouvent souvent dans des régions tectoniques instables. Comme exemple de types humides, on peut citer le Bosphore, à l'entrée de la Mer Noire, les Portes de Fer à l'entrée du bassin panonique néogène. Comme exemple de types arides on peut citer le Bab-el-Mandeb pour la Mer Rouge, le détroit d'Ormuz pour le Golfe Persique et Gibraltar pour la Mer Méditerranée.

Les difficultés augmentent dès que l'on veut se servir de ces exemples pour expliquer des cas fossiles, maints facteurs importants étant encore inconnus : la situation des côtes, la morphologie du fond de la mer, sa profondeur, la situation des détroits, etc. Il est aussi presque impossible de faire la part de l'influence des marées, de même qu'il est souvent

difficile d'établir l'origine synchronique des faciès de sédiments variés, informations qui sont indispensables pour la reconstruction des aspects géologiques.

Mais en tout cas, flore, faune et séries salines donnent des indications sur l'humidité ou l'aridité du climat et par conséquent permettent de prendre la Baltique comme modèle. Nous citerons le Wealdien du Nord de l'Allemagne, le Lias alpha, beta et epsilon de l'Allemagne du Sud (conférence Aldinger, Bad Sooden, 1966).

De plus, le modèle baltique pourrait redonner de l'actualité à l'idée suivante déjà ancienne : si les faciès changent en direction latérale ou verticale il ne faut pas supposer uniquement un changement de climat ou des mouvements tectoniques des terres avoisinantes. La mer elle-même peut changer d'aspect par de tels événements. Et cela parfois par des processus presque localisés, à des endroits de communication avec l'océan très éloignés et à peine connus.

BIBLIOGRAPHIE

- BANSE, K. (1957). — Ergebnisse eines hydrographisch-produktions-biologischen Längsschnittes durch die Ostsee im Sommer 1956: II. Die Verteilung von Sauerstoff, Phosphat und suspendierter Substanz. *Kiel. Meeresforsch.*, 13, 2, p. 186-201.
- BARNER, U. (1965). — Untersuchungen an Sedimenten vom Südausgang des Großen Belts. *Meyniana*, 11, p. 1-28.
- BRAUN, H. (1964). — Zur Entstehung der marinsedimentären Eisenerze. *Clausthaler Hefte zur Lagerstättenkunde etc.*, H. 2, 133 p.
- DELESSE, M. (1871). — Lithologie du Fond des Mers. 479 + 136 p., Paris.
- DIETRICH, G. (1950). — Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. *Kiel. Meeresforsch.*, 7, p. 35-69.
- EDGERTON, H. F., SEIBOLD, E., VOLLBRECHT, K., WERNER, F. (1966). — Morphologische Untersuchungen am Mittelgrund (Eckernförder Bucht, westliche Ostsee). *Meyniana*, 16, p. 37-50.
- EKMAN, S. (1953). — The fauna of the Baltic and other brackish regions. In: *Zoogeography of the Sea*, p. 114-121, London.
- FINKENWIRTH, A. (1964). — Das Eisenerz des Lias gamma am Kahlberg bei Echte und der Weißjura in Süd-Hannover in ihrer grundsätzlichen Bedeutung für lagerstättenkundliche, paläogeographisch-fazielle und tektonische Probleme des Saxonikums. *Beih. Geol. Jb.*, H. 56, 131 p.
- FONSELIUS, S. H. (1962). — Hydrography of the Baltic Deep Basins. *Fish. Board Sweden, Ser. Hydrogr. Rep.*, 13, 41 p.
- GORSHKOVA, T. I. (1963). — Die Bodenablagerungen der Ostsee (Russ.). *Baltica*, 1, p. 189-210.
- GRIPENBERG, S. (1934). — A study of the sediments of the North Baltic and adjoining seas. *Merentutkimuslait. julk./Havsforskningsinst. Helsinki, skr.*, 96, p. 1-231.
- GRIPP, K. (1956). — Das Watt. Begriff, Begrenzung und fossile Vorkommen. *Senckenberg. lethaea*. 37, p. 149-181.
- GRIPP, K. (1958). — Rezente und fossile Flachmeer-Absätze petrologisch betrachtet und gedeutet. *Geol. Rdsch.*, 47, 1, p. 83-99.
- HARTMANN, M. (1964). — Zur Geochemie von Mangan und Eisen in der Ostsee. *Meyniana*, 14, p. 3-20.
- IGNATIUS, H. (1958). — On the rate of sedimentation in the Baltic Sea. *C.R. Soc. géol. de Finlande*, p. 135-145.
- JANKEVICIUS, K. (Ed) (1959). — Kurisches Haff. *Akad. Wissensch. Litauische SSR. Biolog. Inst.*, 546 p.
- KOLP, O. (1966). — Rezente Fazies der westlichen und südlichen Ostsee. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 1966, 1, p. 1-18.
- KRAUSS, W. (1963). — Zum System der internen Seiches der Ostsee. *Kieler Meeresforsch.*, 19, 2, p. 119-132.
- KRAUSS, W. — Die Spektren der Temperaturschwankungen und der Strömung im Gebiet nordwestlich von Fehmarn. (Manuscript).
- KÜHLMORGEN-HILLE, G. (1963). — Quantitative Untersuchungen der Bodenfauna in der Kieler Bucht und ihre jahreszeitlichen Veränderungen. *Kieler Meeresforsch.*, 19, 1, p. 42-66.
- KÜHLMORGEN-HILLE, G. (1965). — Qualitative und quantitative Veränderungen der Bodenfauna der Kieler Bucht in den Jahren 1953-65. *Kieler Meeresforsch.*, 21, 2, p. 167-191.
- LUTZE, G. F. (1965). — Zur Foraminiferen-Fauna der Ostsee. *Meyniana*, 15, p. 75-142.
- MANHEIM, F. T. (1961). — A geochemical profile in the Baltic Sea. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 25, p. 52-70.
- PRATJE, O. (1948). — Die Bodenbedeckung der südlichen und mittleren Ostsee und ihre Bedeutung für die Ausdeutung fossiler Sedimente. *Dtsch Hydrogr. Z.*, 1, p. 45-61.
- REMANE, A. et al. (1940). — Die Tierwelt der Nord- und Ostsee. 1, 238 p. *Akad. Verlagsgesellsch., Leipzig*. Becker & Erler Kom.-Ges.
- RESIG, J. (1965). — Lösungerscheinungen an Foraminiferen der Ostsee-Sedimente. *Diss. Univ. Kiel* (manuscript), 72 p.
- SEGERSTRÅLE, S. G. (1957). — Baltic Sea. In: *Geol. Soc. America, Memoir* 67, 1, p. 751-800.
- SEIBOLD, E. (1963). — Geological investigation of nearshore sand transport. In: SEARS, M. (Ed): *Progress in Oceanography*, 1, p. 1-70.

- SEIBOLD, E. (1964). — Das Meer. In: BRINKMANN, R. (Ed.): *Lehrbuch der Allgemeinen Geologie*, 1, p. 280-500, Stuttgart.
- SEIBOLD, E. (1965). — Der Große Belt in seiner Bedeutung für die rezenten Sedimente der Ostsee. *Baltica*, 2, p. 139-166.
- SEIFERT, G. (1955). — Das Steilufer als Materiallieferant der Sandwanderung. *Mesyniana*, 4, p. 78-83.
- SEMRAU, L. (1966). — Shallow water zone of abrasion near the Polish coast. In: *Second Intern. Oceanogr. Congr. Moscow*, Abstract of Papers, p. 327.
- TEICHERT, C. (1958). — Concepts of Facies. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 42, 11, p. 2718-2744.
- VOIGT, K. (1962). — Windstauunterschiede längs der Südküste der westlichen Ostsee. *Beitr. Meereskunde*, H. 6, *Dtsch. Akad. Wissensch. Berlin*, p. 55-61.
- WERNER, F. (1964). — Sedimentkerne aus den Rinnen der Kieler Bucht. *Meyniana*, 14, p. 52-65.
- WYRTKI, K. (1953 u. 1954). — Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt. I u. II. *Kiel. Meeresforsch.*, 9, p. 155-170 u. 10, p. 162-181.
- WYRTKI, K. (1954). — Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951. *Kiel. Meeresforsch.*, 10, p. 19-25.
- WYRTKI, K. (1954). — Schwankungen im Wasserhaushalt der Ostsee. *Dtsch. Hydrogr. Z.*, 7, 3/4, p. 91-129.
- WÜST, G. (1957). — Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnitts durch die Ostsee im Sommer 1956. I. Die Verteilung von Temperatur, Salzgehalt und Dichte. *Kiel. Meeresforsch.*, 13, 2, p. 163-185.
- ZEITSCHEL, B. (1965). — Zur Sedimentation von Seston, eine produktionsbiologische Untersuchung von Sinkstoffen und Sedimenten der westlichen und mittleren Ostsee. *Kiel. Meeresforsch.*, 21, 1, p. 55-80.

Manuscrit déposé le 18 février 1967.